



パワーレーザーによる新たな展開

兒玉 了祐[†]

New Stage of High Power Laser Science

Ryosuke KODAMA[†]

我々は有史以前から光を当たり前のように使っている。太陽の光のもとで、その力を享受し地上の生命は進化し、やがて人類は火という道具を持つことで、光の制御をはじめた。光は、闇夜の恐怖から人類を開放すると共に様々な使われ方をして、その物質的存在意義が花開き現代の科学技術になくはならない存在となっている。同時に、宗教などを通し人の精神的存在意義にまで影響を及ぼしている。

光は、素粒子としては宇宙を構成している4つの力の1つである電磁相互作用の力を伝えるゲージ粒子であり光子である。4つの力のゲージ粒子の中で唯一、人類が制御できているのがこの光子である。他の力のゲージ粒子の1つであるグラビトンなどは存在すら未だ確認されていない。光との長い歴史の中で、わずか半世紀前に人類は光子の集まりを位相空間で凝縮させ、レーザーという最も冷たいコヒーレントな道具を創り出した。この時間的コヒーレンスの特徴を生かし、様々な分野でレーザーが利用されている。原子を冷却し高精度の時計を作り出したり、光情報通信、光センサーや光相転移をはじめとした光量子制御などの道具として利用したりしている。さらに、空間コヒーレンスはエネルギーを効率的に凝集することを可能とし、高いエネルギー密度を作り出す道具として利用されている。例えば、レーザー核融合、超高压新物質創生、レーザービーニング、レーザー加工、レーザー治療などの分野で利用されている。このように空間的・時間的なコヒーレンスの特徴をもつレーザーは、多くの応用においては、それぞれの特徴を独立に生かした展開がなされてきた。ただ幾つかの分野では、2つの特徴が同時に利用されている。例えばパワーレーザー応用においても、緩やかな時間コヒーレンスと空間コヒーレンスを利用したものとしてレーザー航跡場による電子加速がある。これはプラズマ波を仲介として、レーザーのエネルギーとコヒーレンスを電子に効率的に転換する技術である。その結果、単色性と指向性を有した高エネルギーに加速した電子ビームが作られる。レーザー加工においても従来の熱加工や圧力処理だけでなく短パルスによる非加熱加工が既に始まり、究極的には光相転移を含めた量子制御による加工技術が期待できる。また近い将来実現する時間コヒーレンスをもったX線レーザーを 10^{21} W/cm²以上の強度で加速した原子に集光することで、核のコヒーレント制御も期待できる。より効率的、効果的なパワーレーザーの利用を考えたとき、2つのコヒーレンスの特徴を活かした新たな応用展開が望まれていることは間違いない。

一方で、この万能と思われている光を我々はどうのようにして測定し、何をもって認識しているのか。全ては物質を介して電界なり磁界を感じ或いは摂動を受けて、それらを知り、光の存在として認識している。また物質を通してその力を享受している。これは物質の存在する世界では当たり前のことであるが、真空の中では、この当たり前のことが少し変わってくる。真空の中で綺麗な平面波はいくら強い光でも何ら作用しない。ところが、その場に摂動を与えるなり、均一な波を少し崩した途端に光は真空量子揺らぎと作用し変化する。真空の中では、いくら強い光でも直交した電界磁界からなる電磁波の存在は認識できない。真空中で光は電界と磁界で定義するより、それらの内積や二乗差で定義されるローレンツ不変量が基本となる。このローレンツ不変量の大小で真空揺らぎとの相互作用が決まる。何も無い真空中に平面波の光がいくら多く存在しても何も起こらないが、この平面波にずれが生じた瞬間にローレンツ不変量がゼロで無くなり、光と真空が相互作用し、真空から物質が生まれ、その瞬間に光は物質と相互作用し電磁波として意味を持ち始める。一般に言われている宇宙の始まりを論ずるインフレーション理論とは、違うかもしれないが、真空に潜む謎を解き明かすカギとなる可能性がある。現在の真空とは異なるが宇宙の始まりに関係する真空を理解する第3のアプローチとして、真空と光の相互作用を調べる真空量子光学という学問がパワーレーザー技術で現実的となりつつある。

光はレーザーという道具で、その特徴を活かした様々な応用がなされてきた。その発明から半世紀が過ぎ、光の本質、レーザーの本質に立ち返ったパワーレーザーの新たな展開が今なされようとしている。その意味で、あらためて光の可能性に心が躍る次第である。

[†] 大阪大学 光科学センター (〒565-0871 大阪府吹田市山田丘2-1)

[†] Photon Pioneers Center, Osaka University, 2-1 Yamadaoka, Suita, Osaka 565-0871